

CLIPPEDIMAGE= JP408279649A
PAT-NO: JP408279649A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 08279649 A
TITLE: SEMICONDUCTOR LASER AND MANUFACTURE THEREOF

PUBN-DATE: October 22, 1996

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

NAGAI, YUTAKA

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

MITSUBISHI ELECTRIC CORP

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP07080222

APPL-DATE: April 5, 1995

INT-CL_(IPC): H01S003/18

ABSTRACT:

PURPOSE: To provide a method of manufacturing a semiconductor laser, wherein a window structure can be formed without diffusing impurities at a high temperature.

CONSTITUTION: An N-type lower clad layer 2, a quantum well structure 3', an N-type upper clad layer 4, and an N-type contact layer 5 are epitaxially grown in succession on an N-type GaAs substrate 1, and then a stripe-like SiN film 11 is provided onto the contact layer 5 extending in the lengthwise direction of a laser resonator so as not to reach to the vicinities of both the edges of the laser resonator. Furthermore, an In film 12 is formed on the SiN film 11 and the contact layer 5, and then the substrate 1 is thermally treated so as to diffuse In as deep as the lower clad layer 2, whereby a quantum well structure active layer 3 inside a region 6 where In is diffused is disordered.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-279649

(43) 公開日 平成8年(1996)10月22日

(51) Int.Cl.⁶

H01S 3/18

識別記号

庁内整理番号

F I

H01S 3/18

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数9 OL (全12頁)

(21) 出願番号 特願平7-80222

(22) 出願日 平成7年(1995)4月5日

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 永井 豊

兵庫県伊丹市瑞原4丁目1番地 三菱電機
株式会社光・マイクロ波デバイス開発研究
所内

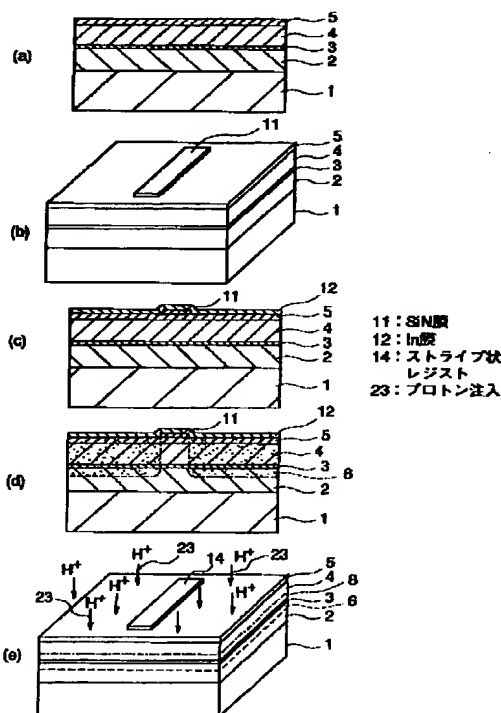
(74) 代理人 弁理士 早瀬 憲一

(54) 【発明の名称】 半導体レーザの製造方法、及び半導体レーザ

(57) 【要約】

【目的】 高温による不純物の拡散を行なうことなく窓構造を形成することができる半導体レーザの製造方法、及び半導体レーザを提供する。

【構成】 n型GaAs基板1上に、n型下クラッド層2、量子井戸構造活性層3、n型上クラッド層4、及びn型コンタクト層5を順次エピタキシャル成長させた後、上記コンタクト層上にレーザ共振器長方向となる方向に伸びる、レーザ共振器端面となる領域の近傍に達しない長さのストライプ状のSiN膜11を設け、さらに、このSiN膜11上、及び上記コンタクト層5上にIn膜12を形成した後、熱処理を行い、Inを下クラッド層2に達する深さまで拡散させ、該Inを拡散させた領域6内の上記量子井戸構造活性層3をディスオーダーさせる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1導電型GaAs基板の一主面上に、第1導電型 $Al_xGa_{1-x}As$ ($0 < x < 1$) 下クラッド層、複数の $Al_zGa_{1-z}As$ ($0 < z < x$) バリア層と単数又は複数の $Al_yGa_{1-y}As$ ($0 < y < z$) ウエル層とからなる量子井戸構造活性層、第2導電型 $Al_rGa_{1-r}As$ ($z < r < 1$) 上クラッド層、及び第2導電型GaAsコンタクト層を順次エピタキシャル成長させる工程と、

上記量子井戸構造活性層のレーザ共振器端面となる領域の近傍に、Inを熱処理を用いて拡散させて、該領域の量子井戸構造活性層をディスオーダーさせる工程と、
上記基板の一主面と反対側の面上、及び上記コンタクト層上にそれぞれ第1、第2の電極を形成する工程とを備えたことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項2】 第1導電型GaAs基板の一主面上に、第1導電型 $Al_xGa_{1-x}As$ ($0 < x < 1$) 下クラッド層、複数の $Al_zGa_{1-z}As$ ($0 < z < x$) バリア層と単数又は複数の $Al_yGa_{1-y}As$ ($0 < y < z$) ウエル層とからなる量子井戸構造活性層、第2導電型 $Al_rGa_{1-r}As$ ($z < r < 1$) 上クラッド層、及び第2導電型GaAsコンタクト層を順次エピタキシャル成長させる工程と、

上記コンタクト層上にレーザ共振器長方向となる方向に伸びる、レーザ共振器端面となる領域の近傍に達しない長さの、所定幅のストライプ状のInの拡散を防止する材料からなるIn拡散防止膜を形成し、その後、該In拡散防止膜上、及び上記コンタクト層上にInの拡散源となる膜を形成する工程と、

該Inの拡散源となる膜から熱処理を用いてInを下クラッド層に達する深さまで拡散させ、該Inを拡散させた領域内の上記量子井戸構造活性層をディスオーダーする工程と、

上記Inの拡散源となる膜、及び絶縁膜を除去する工程と、

上記Inを拡散させた領域以外の領域のコンタクト層上にレジスト膜を形成し、該レジスト膜をマスクとして上記コンタクト層の上方から上記量子井戸構造活性層に達しない深さまでプロトンを入力する工程と、

上記レジストを除去する工程と、

上記基板の一主面と反対側の面上、及び上記コンタクト層上にそれぞれ第1、第2の電極を形成する工程とを備えたことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項3】 請求項2に記載の半導体レーザの製造方法において、

上記In拡散防止膜はSiN膜であることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項4】 請求項2に記載の半導体レーザの製造方法において、

上記In拡散防止膜はSiO₂膜であることを特徴とす

る半導体レーザの製造方法。

【請求項5】 請求項2に記載の半導体レーザの製造方法において、

上記Inの拡散源となる膜はIn膜であることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項6】 請求項2に記載の半導体レーザの製造方法において、

上記Inの拡散源となる膜はIn₂O₃膜であることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項7】 請求項2に記載の半導体レーザの製造方法において、

上記Inの拡散源となる膜を形成した後、該Inの拡散源となる膜上にSiO₂膜を形成する工程と、

上記量子井戸構造活性層をディスオーダーした後、該SiO₂膜を除去する工程とをさらに含むことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項8】 第1導電型GaAs基板と、

該基板上に配置された第1導電型 $Al_xGa_{1-x}As$ ($0 < x < 1$) 下クラッド層と、

20 該下クラッド層上に配置され、複数の $Al_zGa_{1-z}As$ ($0 < z < x$) バリア層と単数又は複数の $Al_yGa_{1-y}As$ ($0 < y < z$) ウエル層とからなり、そのレーザ共振器端面近傍に熱処理を伴うインジウム(In)の拡散によりディスオーダーされた領域を有する量子井戸構造活性層と、

該量子井戸構造活性層上に配置された第2導電型 $Al_rGa_{1-r}As$ ($z < r < 1$) 上クラッド層と、

該上クラッド層上に配置された第2導電型GaAsコンタクト層と、

30 上記基板の一主面と反対側の面上に配置された第1の電極と、

上記コンタクト層上に配置された第2の電極とを備えたことを特徴とする半導体レーザ。

【請求項9】 請求項8に記載の半導体レーザにおいて、

上記量子井戸構造活性層は、上記レーザ共振器端面近傍を除いた領域のうちのレーザ共振器長方向に伸びる所定幅のストライプ状の活性領域以外の領域が、熱処理を伴うInの拡散によりディスオーダーされており、

40 上記上クラッド層の上部、及びコンタクト層の上記活性領域上の領域以外の領域は、プロトンが注入されて高抵抗化されていることを特徴とする半導体レーザ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は半導体レーザの製造方法、及び半導体レーザに関し、特に端面部分に窓構造を有する高光出力動作が可能な半導体レーザの製造方法、及び半導体レーザに関するものである。

【0002】

50 【従来の技術】図5は従来の半導体レーザの構造を示す

3

断面図であり、図5(a)は半導体レーザの斜視図、図5(b)は図5(a)のV-V線における断面図、即ち半導体レーザの共振器長方向の断面図である。図において、1はn型GaAs半導体基板である。厚さが1.5~2 μ m、アルミニウム組成比xが0.5のn型Al_xGa_{1-x}As下クラッド層2は基板1上に配置される。3は量子井戸構造活性層であり、該量子井戸構造活性層3は、厚さが約10nm、アルミニウム組成比yが0.05~0.15のAl_yGa_{1-y}Asウエル層3層と、厚さ約10nm、アルミニウム組成比zが0.2~0.35のAl_zGa_{1-z}Asバリア層2層を交互に積層した5層構造と、該5層構造の最上層のウエル層上、及び最下層のウエル層下にそれぞれ配置された厚さ約35nmの上記バリア層と同じ組成の光ガイド層とからなる。また、4は厚さが1.5~2.0 μ m、アルミニウム組成比rが0.5のp型Al_rGa_{1-r}As上クラッド層、5は厚さが0.5~1.0 μ mのp型GaAsコンタクト層、8はプロトン注入領域、9はn側電極、10はp側電極、15はシリコン(Si)拡散領域、20はレーザ共振器端面、3aは活性層3のレーザ発光に寄与する活性領域、3bは活性層3のレーザ共振器端面近傍に形成された窓構造領域である。また、この半導体レーザの素子の大きさは、共振器長方向の長さが300~600 μ m、幅が約300 μ mである。

【0003】また、図6は図5に示す従来の半導体レーザを製造する方法を示す工程図であり、図において、図5と同一符号は同一又は相当する部分を示し、11はストライプ状のSiN膜、14はフォトリソレジスト、22はSi膜であり、23はプロトン注入を示している。

【0004】次に、この従来の製造方法を図6を用いて説明する。ウエハ状態(図示せず)のn型GaAs半導体基板1上に、下クラッド層2、量子井戸構造層3、上クラッド層4、コンタクト層5を順次エピタキシャル結晶成長させる。成長後のウエハの断面図を図6(a)に示す。次に、このコンタクト層5表面にSiN膜を形成し、このSiN膜をパターニングして、図6(b)に示すように、レーザ共振器長方向に伸びる、レーザ共振器端面となる位置に達しないストライプ状のSiN膜11を形成する。このSiN膜11と半導体レーザの共振器端面となる位置との間隔は20 μ m程度となるようにし、このストライプ状のSiN膜11の幅、即ちレーザ共振器長と垂直な方向の長さは1.5~5 μ mとする。

【0005】続いて、図6(c)に示すように、該SiN膜11上及び上記コンタクト層5上を覆うようにSi膜22を形成した後、図6(d)に示すように900℃以上の高温でアニールを行い、Si膜22からSiをコンタクト層5の上面から下クラッド層2に達するまで拡散させてSi拡散領域15を形成する。このとき、Si拡散領域15内にある活性層3のSi濃度が 3×10^{18} cm⁻³程度となるようにする。なお、SiN膜11の下部の

4

領域にはSi膜22とコンタクト層5との間に該SiN膜11を介在しているので、Siは拡散しない。このアニールをとともうSi拡散により、該Si拡散領域15の量子井戸構造活性層3はディスオーダーされる。このディスオーダーされた量子井戸構造活性層3のレーザ共振器端面近傍となる領域が、窓構造として機能する窓構造領域3bとなる。また、ディスオーダーされていない活性層3は活性領域3aとなる。

【0006】つぎに、Si膜22、及びSiN膜11をHCl系エッチング液等を用いたウエットエッチングにより除去し、その後、コンタクト層5の上面をレジストで覆い、これをフォトリソグラフィ技術によってパターニングして、図6(e)に示すように、上記SiN膜11が形成されていた領域上に、該SiN膜11と同じ大きさのレーザ共振器長方向に伸びるストライプ状のレジスト14を形成する。そして、該レジスト14をマスクとしてコンタクト層5の上面から活性層3に達しない深さまで、プロトン注入を行うと、これにより、コンタクト層5、および上クラッド層4にプロトン注入された領域8が形成される。この領域が高抵抗領域となり、電流ブロック層として機能するものとなる。

【0007】最後に、レジスト14を除去した後、コンタクト層5上にp側電極10を形成し、基板1側にn側電極9を形成し、へき開によりレーザ共振器端面20を形成して、図5に示すような窓構造を備えた半導体レーザを得る。

【0008】次に、従来の半導体レーザの動作について説明する。p側電極10側に正、n側電極9側に負となるように電圧を印加すると、ホールはp型コンタクト層5、p型上クラッド層4を経て量子井戸構造活性層3へ、また電子はn型半導体基板1、n型AlGaAsクラッド層2を経て量子井戸構造活性層3にそれぞれ注入され、活性層3の活性領域において電子とホールの再結合が発生し、量子井戸構造活性層3の活性領域3a内で誘導放光が生ずる。そしてキャリアの注入量を十分高くして導波路の損失を越える光が発生すればレーザ発振が生じる。ここで、プロトン注入された領域8はプロトン注入により高抵抗となるため、このプロトン注入領域8のp型コンタクト層5、p型上クラッド層4には電流が流れないこととなり、プロトン注入されていない領域にのみ電流は流れる。

【0009】次に窓構造について説明する。一般にコンパクトディスク(CD)等の光ディスク装置の光源として用いられる0.8 μ m帯の波長のレーザ光を発するAlGaAs系の半導体レーザの最大光出力は、端面破壊が発生する光出力で決定される。この端面破壊はレーザ光が端面領域の表面準位の光吸収によって発生した熱で半導体レーザを構成する結晶自体が溶融し共振器の機能を果たさなくなるものである。よって高光出力動作を実現するためにはより高い光出力でも端面破壊が生じない

工夫が必要である。このためには活性層の端面領域にレーザ光を吸収しにくくする構造、つまりレーザ光に対して“透明”となるような窓構造を設けることが非常に有効である。この窓構造はレーザ光を発する活性層の活性領域よりもバンドギャップエネルギーが高くなるような構造をレーザ共振器端面近傍に設けることにより得られるものである。図5に示す従来の半導体レーザにおいては活性層3が量子井戸構造からなっているため、このような窓構造が熱処理工程を含むSi拡散による量子井戸構造3のディスオーダーを利用して形成されている。図7はこのディスオーダーを説明するための、活性層3近傍のアルミニウム組成比のプロファイルを示す図であり、図7(a)はディスオーダーする前の量子井戸構造活性層3のアルミニウム組成比のプロファイルを、また、図7(b)はディスオーダーした後の量子井戸構造活性層3のアルミニウム組成比のプロファイルをそれぞれ示している。

【0010】図7において、図1と同一符号は同一または相当する部分を示しており、30、31、及び32はそれぞれ活性層3のウエル層、バリア層、及び光ガイド層を示している。また、図において縦軸はAl組成比を示し、横軸は下クラッド層2、活性層3、及び上クラッド層4の結晶成長方向の高さ位置を示し、A12はウエル層30のアルミニウム組成比、A11はバリア層31、及び光ガイド層32のアルミニウム組成比、A13はディスオーダーされた後の活性層3のアルミニウム組成比を示している。図7(a)に示すような量子井戸構造活性層3に亜鉛(Zn)やシリコン(Si)のような不純物を拡散させると、これらの拡散にともないウエル層17とバリア層18を構成する原子が混じり合い、図7(b)に示すように、この拡散された領域はそのアルミニウム組成比がA11とA12間のA13となってディスオーダーされることとなる。即ち、ディスオーダーされた量子井戸構造活性層3のアルミニウム組成比は、バリア層31、及び光ガイド層32のアルミニウム組成比A11とほぼ等しいアルミニウム組成比A13となり、活性層3の実効的なバンドギャップエネルギーはバリア層31、光ガイド層32とほぼ等しい値になる。よってSi拡散によりディスオーダーされた量子井戸構造活性層の実効的なバンドギャップエネルギーが、活性領域3aとなるディスオーダーされていない活性層3の実効的なバンドギャップエネルギーより大きくなるため、ディスオーダーされた量子井戸構造活性層はレーザ光に対して“透明”となって窓構造として機能するようになり、このように量子井戸構造活性層3のレーザ共振器端面20の近傍の領域が窓構造領域3bとなることとなる。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】以上のように、従来の窓構造を有する半導体レーザにおいては、レーザ共振器端面20近傍の量子井戸構造活性層3をSi等の不純物

の拡散によりディスオーダーして窓構造領域3bを形成しているが、このSiを拡散する工程において、900℃以上の高温のアニールを長時間実施する必要がある。一例を示すと、900℃以上で10時間以上のアニールを行なうことで1.5μm以上の拡散深さが得られる。

【0012】しかしながら、このようなアニールを行った場合、Siを拡散させてディスオーダーしようとする領域以外の領域の量子井戸活性層3、即ち活性領域3aの量子井戸構造活性層3のアルミニウム(Al)やガリウム(Ga)といった構成元素が熱拡散し、量子井戸構造活性層3を構成するウエル層30とバリア層31と光ガイド層32間の各界面の急峻性が損なわれ、この結果、量子効果が損なわれ量子井戸構造活性層を有する半導体レーザとしての優れた素子特性が著しく劣化するという問題があった。

【0013】また、Si等の不純物の拡散の際には、下クラッド層2、及び上クラッド層4のn型ドーパント、及びp型ドーパントも拡散し、活性層3と下クラッド層2、及び上クラッド層4間の各界面が、このドーパントの拡散によって混ざり合って急峻性が損なわれたり、あるいは活性層3がこのドーパントの拡散にともなってディスオーダーされてしまう場合があり、この結果、レーザ特性が劣化してしまうという問題があった。

【0014】さらに、下クラッド層2のn型ドーパントが上クラッド層4にまで拡散したり、上クラッド層4のp型ドーパントが下クラッド層2にまで拡散したりして、pn接合が量子井戸活性層3から離れた上クラッド層4、あるいは下クラッド層2中に形成される、いわゆるリモートジャンクションといわれる状態を生じることとなり、レーザ特性が劣化してしまう場合があるという問題があった。特にp型ドーパントとしてよく用いられる亜鉛(Zn)はGaAsあるいはAlGaAs中での拡散係数が大きく、前述したような長時間での熱処理条件では拡散しやすく、このようなリモートジャンクションが発生しやすいという問題があった。

【0015】この発明は上記のような問題点を解消するためになされたものであり、高温による不純物の拡散を行なうことなく窓構造を形成することのできる半導体レーザの製造方法を提供することを目的とする。

【0016】また、この発明は上記のような問題点を解消するためになされたものであり、高温による不純物の拡散を行なうことなく窓構造を形成することのできる半導体レーザを提供することを目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】この発明に係る半導体レーザの製造方法は、第1導電型GaAs基板の一主面に、第1導電型Al_xGa_{1-x}As(0<x<1)下クラッド層、複数のAl_zGa_{1-z}As(x<z<0)バリア層と単数又は複数のAl_yGa_{1-y}As(0<y<z)ウエル層とからなる量子井戸構造活性層、第2導電

10

20

30

40

50

7

型 $\text{Al}_r\text{Ga}_{1-r}\text{As}$ ($z < r < 1$) 上クラッド層、及び第2導電型 GaAs コンタクト層を順次エピタキシャル成長させた後、上記量子井戸構造活性層のレーザ共振器端面となる領域の近傍に、 In を熱処理を用いて拡散させて、該領域の量子井戸構造活性層をディスオーダーさせた後、上記基板の一主面と反対側の面上、及び上記コンタクト層上にそれぞれ第1、第2の電極を形成するようにしたものである。

【0018】また、この発明に係る半導体レーザの製造方法は、第1導電型 GaAs 基板の一主面上に、第1導電型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x < 1$) 下クラッド層、複数の $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 < z < x$) バリア層と単数又は複数の $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 < y < z$) ウエル層とからなる量子井戸構造活性層、第2導電型 $\text{Al}_r\text{Ga}_{1-r}\text{As}$ ($z < r < 1$) 上クラッド層、及び第2導電型 GaAs コンタクト層を順次エピタキシャル成長させた後、上記コンタクト層上にレーザ共振器長方向となる方向に伸びる、レーザ共振器端面となる領域の近傍に達しない長さの、所定幅のストライプ状の In の拡散を防止する材料からなる In 拡散防止膜を形成し、その後該 In 拡散防止膜上、及び上記コンタクト層上に In の拡散源となる膜を形成し、該 In の拡散源となる膜から熱処理を用いて In を下クラッド層に達する深さまで拡散させ、該 In を拡散させた領域内の上記量子井戸構造活性層をディスオーダーし、さらに、上記 In の拡散源となる膜、及び絶縁膜を除去した後、上記 In を拡散させた領域以外の領域のコンタクト層上にレジスト膜を形成し、このレジスト膜をマスクとして上記コンタクト層の上方から上記量子井戸構造活性層に達しない深さまでプロトンを注入し、その後、上記レジストを除去した後、

上記基板の一主面と反対側の面上、及び上記コンタクト層上にそれぞれ第1、第2の電極を形成するようにしたものである。

【0019】また、上記半導体レーザの製造方法において、上記 In 拡散防止膜を Si_3N_4 膜としたものである。

【0020】また、上記半導体レーザの製造方法において、上記 In 拡散防止膜を SiO_2 膜としたものである。

【0021】また、上記半導体レーザの製造方法において、上記 In の拡散源となる膜を In 膜としたものである。

【0022】また、上記半導体レーザの製造方法において、上記 In の拡散源となる膜を In_2O_3 膜としたものである。

【0023】また、上記半導体レーザの製造方法において、上記 In の拡散源となる膜を形成した後、該 In の拡散源となる膜上に SiO_2 膜を形成する工程と、上記量子井戸構造活性層をディスオーダーした後、該 SiO_2 膜を除去する工程とをさらに含むものである。

【0024】また、この発明に係る半導体レーザは、第

8

1導電型 GaAs 基板と、この基板上に配置された第1導電型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x < 1$) 下クラッド層と、この下クラッド層上に配置され、複数の $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 < z < x$) バリア層と単数又は複数の $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 < y < z$) ウエル層とからなり、そのレーザ共振器端面近傍に熱処理を伴うインジウム (In) の拡散によりディスオーダーされた領域を有する量子井戸構造活性層と、この量子井戸構造活性層上に配置された第2導電型 $\text{Al}_r\text{Ga}_{1-r}\text{As}$ ($z < r < 1$) 上クラッド層と、この上クラッド層上に配置された第2導電型 GaAs コンタクト層と、上記基板の一主面と反対側の面上に配置された第1の電極と、上記コンタクト層上に配置された第2の電極とを備えたものである。

【0025】また、上記半導体レーザにおいて、上記量子井戸構造活性層は、上記レーザ共振器端面近傍を除いた領域のうちのレーザ共振器長方向に伸びる所定幅のストライプ状の活性領域以外の領域が、熱処理を伴う In の拡散によりディスオーダーされており、上記上クラッド層の上部、及びコンタクト層の上記活性領域上の領域以外の領域は、プロトンが注入されて高抵抗化されているものである。

【0026】

【作用】この発明においては、第1導電型 GaAs 基板の一主面上に、第1導電型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x < 1$) 下クラッド層、複数の $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 < z < x$) バリア層と単数又は複数の $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 < y < z$) ウエル層とからなる量子井戸構造活性層、第2導電型 $\text{Al}_r\text{Ga}_{1-r}\text{As}$ ($z < r < 1$) 上クラッド層、及び第2導電型 GaAs コンタクト層を順次エピタキシャル成長させた後、上記量子井戸構造活性層のレーザ共振器端面となる領域の近傍に、 In を熱処理を用いて拡散させて、該領域の量子井戸構造活性層をディスオーダーさせるようにしたから、 600°C 程度の低い温度で In を拡散させてレーザ共振器端面近傍の活性層をディスオーダーすることができ、高温による不純物の拡散を行なうことなく窓構造を形成することができる。

【0027】また、この発明においては、第1導電型 GaAs 基板の一主面上に、第1導電型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x < 1$) 下クラッド層、複数の $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 < z < x$) バリア層と単数又は複数の $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 < y < z$) ウエル層とからなる量子井戸構造活性層、第2導電型 $\text{Al}_r\text{Ga}_{1-r}\text{As}$ ($z < r < 1$) 上クラッド層、及び第2導電型 GaAs コンタクト層を順次エピタキシャル成長させた後、上記コンタクト層上にレーザ共振器長方向となる方向に伸びる、レーザ共振器端面となる領域の近傍に達しない長さの、所定幅のストライプ状の In の拡散を防止する材料からなる In 拡散防止膜を形成し、その後、該 In 拡散防止膜上、及び上記コンタクト層上に In の拡散源となる膜を形成し、該 In の拡散源となる膜から熱処理を用いて In を

下クラッド層に達する深さまで拡散させ、該Inを拡散させた領域内の上記量子井戸構造活性層をディスオーダーするようにしたから、600℃程度の低い温度でInを拡散させてレーザ共振器端面近傍の活性層をディスオーダーすることができ、高温による不純物の拡散を行なうことなく窓構造を形成することができる。

【0028】また、この発明においては、上記In拡散防止膜をSiN膜としたから、高温による不純物の拡散を行なうことなく窓構造を形成することができる。

【0029】また、この発明においては、上記In拡散防止膜をSiO₂膜としたから、高温による不純物の拡散を行なうことなく窓構造を形成することができる。

【0030】また、この発明においては、上記Inの拡散源となる膜をIn膜としたから、高温による不純物の拡散を行なうことなく窓構造を形成することができる。

【0031】また、この発明においては、上記Inの拡散源となる膜をIn₂O₃膜としたから、コンタクト層表面と平行な平面内におけるIn拡散の不均一な分布をなくして、拡散領域内の量子井戸構造活性層を均一にディスオーダーして、均一な品質の窓構造を形成することができる。

【0032】また、この発明においては、上記Inの拡散源となる膜を形成した後、該Inの拡散源となる膜上にSiO₂膜を形成する工程と、上記量子井戸構造活性層をディスオーダーした後、該SiO₂膜を除去する工程とをさらに含むようにしたから、In拡散時におけるコンタクト層表面からのAs抜けを防止することができる。

【0033】また、この発明においては、第1導電型GaAs基板と、この基板上に配置された第1導電型Al_xGa_{1-x}As (0<x<1)下クラッド層と、この下クラッド層上に配置され、複数のAl_zGa_{1-z}As (0<z<x)バリア層と単数又は複数のAl_yGa_{1-y}As (0<y<z)ウエル層とからなり、そのレーザ共振器端面近傍に熱処理を伴うインジウム(In)の拡散によりディスオーダーされた領域を有する量子井戸構造活性層と、この量子井戸構造活性層上に配置された第2導電型Al_rGa_{1-r}As (z<r<1)上クラッド層と、この上クラッド層上に配置された第2導電型GaAsコンタクト層とを備えたから、600℃程度の低い温度でInを拡散させてレーザ共振器端面近傍の活性層をディスオーダーすることができ、高温による不純物の拡散を行なうことなく窓構造を形成することができる。

【0034】また、この発明においては、上記量子井戸構造活性層の上記レーザ共振器端面近傍を除いた領域のうちのレーザ共振器長方向に伸びる所定幅のストライプ状の活性領域以外の領域が、熱処理を伴うInの拡散によりディスオーダーされており、上記上クラッド層の上部、及びコンタクト層の、上記活性領域上の領域以外の領域は、プロトンが注入されて高抵抗化されているよう

にしたから、600℃程度の低い温度でInを拡散させてレーザ共振器端面近傍の活性層をディスオーダーすることができ、高温による不純物の拡散を行なうことなく窓構造を形成することができる。

【0035】

【実施例】

実施例1. 図1は本発明の第1の実施例による半導体レーザの構造を示す斜視図(図1(a))、及び図1(a)のI-I線による断面図(図1(b))、即ちレーザ共振器長方向の断面図である。図において、1はn型GaAs半導体基板である。厚さが1.5~2μm、アルミニウム組成比xが0.5のn型Al_xGa_{1-x}As下クラッド層2は基板1上に配置される。3は量子井戸構造活性層であり、該量子井戸構造活性層3は、厚さが約10nm、アルミニウム組成比yが0.05~0.15のAl_yGa_{1-y}Asウエル層3層と、厚さ約10nm、アルミニウム組成比zが0.2~0.35のAl_zGa_{1-z}Asバリア層2層を交互に積層した5層構造と、該5層構造の最上層のウエル層上、及び最下層のウエル層下にそれぞれ配置された厚さ約35nmの上記バリア層と同じ組成の光ガイド層とからなる。また、4は厚さが1.5~2.0μm、アルミニウム組成比rが0.5のp型Al_rGa_{1-r}As上クラッド層、5は厚さが0.5~1.0μmのp型GaAsコンタクト層、8はプロトン注入領域、9はn側電極、10はp側電極、6はインジウム(In)拡散領域、20はレーザ共振器端面、3aは活性層3のレーザ発光に寄与する活性領域、3bは活性層3のレーザ共振器端面20の近傍に形成された窓構造領域である。また、この半導体レーザの素子の大きさは、共振器長方向の長さが300~600μm、幅が約300μmである。

【0036】また、図2は本発明の第1の半導体レーザの製造方法を示す工程図であり、図において、図1と同一符号は同一又は相当する部分を示し、11はSiN膜、14はフォトリソ、12はIn膜、23はプロトン注入を示している。

【0037】次に製造方法について説明する。まず、ウエハ状態(図示せず)のn型GaAs半導体基板1上に、n型Al_xGa_{1-x}As下クラッド層2、量子井戸構造活性層3、p型Al_rGa_{1-r}As上クラッド層4、p型GaAsコンタクト層5をエピタキシャル結晶成長する。この結晶成長方法としては膜厚制御性に優れた有機金属気相成長法(MOCVD)あるいは分子線エピタキシ法(MBE)が適している。成長後のウエハの断面図を図2(a)に示す。

【0038】次に、上記p型コンタクト層5の表面をSiN膜で覆い、フォトリソグラフィ技術とエッチング技術によって、図2(b)に示すようにレーザ共振器端面となる位置に達しない長さの、レーザ共振器長方向に伸びるストライプ状のSiN膜11を形成する。このSiN

11

膜11は例えばプラズマCVD法によって成膜されている。SiN膜11の厚さとしては30nm~200nmが適当であり、このストライプの幅は1.5~5μmである。

【0039】次に該SiN膜11の表面、及び上記コンタクト層5の表面にIn膜12を成膜する。成膜方法としては電子ビーム蒸着法あるいはスパッタ法等が挙げられる。またIn膜12の膜厚は10nm~200nmの範囲が適当である。In膜12形成後のウエハの断面図を図2(c)に示す。

【0040】続いて、In膜12を成膜した後、ウエハをアニール炉中に入れて熱処理を行う。Inは600°C以上の熱によって半導体層中に拡散するため、この程度の温度条件で、図2(d)に示すように、コンタクト層5の表面から下クラッド層2に達するまでInを拡散させてIn拡散領域6を形成する。この時、In拡散領域6の量子井戸活性層3では熱処理をとまなうInの拡散により量子井戸構造がディスオーダーされ、このディスオーダーされた領域の実効的なバンドギャップエネルギーが、ディスオーダーされていない領域の量子井戸構造活性層3のバンドギャップエネルギーよりも大きくなる。このため、このディスオーダーされた領域のうちのレーザ共振器端面近傍の領域が、活性層3のディスオーダーされていない領域、即ち活性領域3aで発せられるレーザ光に対して”窓”として機能する窓構造領域3bとなる。

【0041】なお、Inの拡散深さはアニール時間によって精密に制御できるものであり、図8にGaAs中のIn拡散における拡散時間と拡散深さの関係を一例として示す。図8において縦軸は拡散深さ(単位:μm)を示し、横軸は拡散時間の平方根を示している。また、InはSiN膜11内を拡散されないため、ストライプ状のSiN膜11の下部にはInは拡散されない。ここで、本実施例においては、活性層3のInの拡散濃度が $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上となるようにInを拡散させることが好ましい。また、SiN膜11を用いる代わりに、SiO₂等のInの拡散を防止できる材料からなる膜を用いるようにしてもよい。

【0042】続いてInを拡散させた後、In膜12及びSiN膜11をHCl系エッチング液等を用いたウェットエッチングによって除去する。次にコンタクト層5の表面をレジスト膜で覆い、フォトリソグラフィ技術によって、図2(e)に示すようにSiN膜11が形成されていた領域に上記SiN膜11とほぼ同じ大きさの共振器長方向に伸びるストライプ状のレジスト14を形成し、このレジスト14をマスクにしてコンタクト層5の上方から上クラッド層4内に停まり、活性層3に達しない深さまで約 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の濃度となるようプロトン注入23を実施する。この結果、レジスト14の下部を除いた領域のコンタクト層5及び上クラッド層4の上部にプロトンが注入されたプロトン注入領域8が形成さ

12

れる。このプロトン注入領域8は高抵抗領域となり、電流ブロック層として機能する。

【0043】最後にウエハのコンタクト層側にp側電極10を、GaAs基板1側にn側電極9を形成し、ウエハをへき開して一对のレーザ共振器端面20を形成して半導体レーザ装置を得る。

【0044】本実施例1の半導体レーザにおいては、In拡散領域6内の活性層3は熱処理を用いたInの拡散によりディスオーダーされているため、上述した従来の技術において説明したように、この活性層3内のIn拡散によりディスオーダーされた領域のバンドギャップエネルギーは、ディスオーダーされていない領域、即ち活性領域3aのバンドギャップエネルギーよりも大きくなっているため、このディスオーダーされた領域のうちのレーザ共振器端面20近傍の領域は、レーザ光を吸収しない窓構造領域3bとなる。また、活性層3の、活性領域3aに対してレーザ共振器長方向と垂直な方向において隣接する領域もディスオーダーされているため、活性層3内のレーザ共振器長方向と垂直な方向においても屈折率分布が生じ、レーザ光は活性領域3aに閉じ込められてレーザ共振器長方向に導波される。

【0045】ここで、本実施例1においては、窓構造を形成するためにInを、アニールを行なって拡散させて量子井戸構造活性層3をディスオーダーしているが、InはSi拡散と比べて200°C以上低いアニール温度で拡散するので、従来の半導体レーザのように、活性領域3aの量子井戸構造活性層3のウエル層とバリア層、及び光ガイド層との界面の急峻性の熱による劣化を防ぐことができる。

【0046】また、同様に、低いアニール温度で拡散させることができるので、n型下クラッド層2、及びp型上クラッド層4にそれぞれ含まれているn型、及びp型のドーパントの拡散を起こさにくいため、従来の半導体レーザのように、活性領域3aの活性層3における、ドーパントの拡散による活性層3とn型下クラッド層2、及びp型上クラッド層4との界面の急峻性の劣化や、活性層3の活性領域3aがディスオーダーされてしまうことや、上クラッド層又は下クラッド層の一方のドーパントが他方のクラッド層まで拡散することにより発生するリモートジャンクションの発生を防ぐことができ、レーザ特性本来の劣化を防止できる。

【0047】さらに、従来の半導体レーザにおいては、III-V族であるGaAs系の半導体レーザに対して、IV族元素であるSiを拡散させていたため、Siが半導体層中の導電型に影響を与える不純物となって高不純物濃度領域を形成して極端な導電型の変化を引き起こしてしまうため、この拡散領域を後工程のプロトン注入により高抵抗化することが困難となるが、本実施例において用いたInはGaAs中のGaと同じIII族原子であるため、Siのようなドーパントとなる元素を拡散させる場

13

合と異なり、高不純物濃度領域を形成せず、後工程のプロトン注入による高抵抗化をSi拡散の場合よりも容易とすることができる。

【0048】以上のように本実施例1によれば、Inをレーザ共振器端面20近傍の量子井戸構造活性層3に熱処理を用いて拡散させて窓構造を形成するようにしたから、600℃程度の温度でレーザ共振器端面20近傍の活性層3をディスオーダーすることができ、高温による不純物の拡散を行なうことなく窓構造を形成することができ、高品質な半導体レーザを提供することができる効果がある。

【0049】実施例2. 図3は本発明の第2の実施例による半導体レーザの製造方法における主要工程を示す、レーザ共振器長方向と垂直な面による断面図であり、図において、19はIn₂O₃膜である。本実施例2は上記第1の実施例において、Inを拡散させるために用いたIn膜12の代わりにIn₂O₃膜19を用いるようにしたものである。

【0050】上記実施例1においては、In拡散の拡散源として、コンタクト層5上に形成されたIn膜12を用いるようにしたが、この場合、Inを拡散させるための加熱を行なう際に、表面のIn膜12が溶けて、表面張力により局所的にたまるボールアップという現象を起こす可能性がある。この現象が起こると、In膜12のコンタクト層5表面での分布が不均一となり、In拡散が、In膜12が溶けて分散した位置からそれぞれ行なわれてしまうため、コンタクト層5表面と平行な面内における拡散位置、拡散深さ、及び拡散量の制御が困難となり、窓構造を形成するためのディスオーダーを活性層3内のIn拡散領域6において均一に行なうことができないという問題が発生する。

【0051】本実施例2はこのような問題点を解決するためのものであり、上記実施例1の半導体レーザの製造方法において、図2(c)に示した、コンタクト層5表面にIn膜12を形成する工程の代わりに、図3に示すようにIn₂O₃膜19を形成する工程を用いるようにしたものである。本実施例2のようにIn拡散源としてIn₂O₃膜19を用いると、Inの酸化物はIn膜12より熱的に安定で溶けにくく、ボールアップのような現象は生じないため、均一なIn拡散を実現することができるものである。

【0052】このように本実施例2によれば、In膜のかわりに、In₂O₃膜19をコンタクト層5、およびSiN膜11上に形成し、これを用いてInを拡散させるようにしたから、拡散領域内の量子井戸構造活性層におけるコンタクト層表面と平行な平面内でのIn拡散の不均一な分布をなくして、拡散領域内の量子井戸構造活性層を均一にディスオーダーして、均一な品質の窓構造を形成することができ、高品質な半導体レーザが得られる効果がある。

14

【0053】実施例3. 図4は本発明の第3の実施例による半導体レーザの製造方法の主要工程を示すレーザ共振器長方向と垂直な面による断面図であり、図において、13はSiO₂膜である。

【0054】上記実施例1においては、Inを拡散させるためのアニールを行なう際に、ウエハが600℃以上に加熱されるが、コンタクト層5の材料であるGaAs結晶は600℃以上の熱にさらされると砒素(As)が結晶中からぬけていき、表面荒れが生じてしまう。このような表面荒れが発生すると、例えば電極を形成する工程において、コンタクト層5上にレジストを設けてこれをパターニングする際に、レジスト表面に凹凸が発生することにより、転写の際の光の焦点が合わせにくくなり、所望のパターンを形成することが困難となってしまうという問題がある。

【0055】本実施例3は、このようなIn拡散時に発生するAs抜けを防止するために、上記実施例1の図2(c)に示したIn膜12を形成する工程の後、In膜12上にAs抜けを防止できるSiO₂膜13を設けるようにし、その後、上記実施例1と同様の工程によりInを拡散させるようにしたものであり、このSiO₂膜13を形成することにより、このSiO₂膜13がAs抜け防止膜として機能して、コンタクト層5の表面からの砒素抜けを防止することにより、コンタクト層5の表面荒れを著しく低減することができ、その後の電極形成工程において、所望の形状の電極を容易に形成することが可能となる。なお、このSiO₂膜13は、上記In拡散工程の後には、フッ酸等を用いることによりこれを容易に除去することができる。

【0056】このように本実施例3によれば、In膜12上にSiO₂膜13を形成した後、Inを拡散させて量子井戸構造活性層3をディスオーダーするようにしたから、In拡散工程におけるコンタクト層の表面からのAs抜けを防止してコンタクト層5の表面荒れを防ぐことができる。

【0057】なお、本実施例3は、上記実施例1の半導体レーザの製造方法において、In膜上にSiO₂膜を形成するようにしたものであるが、本発明は、上記実施例2の半導体レーザの製造方法において、In₂O₃膜上にSiO₂膜を形成して、In拡散工程におけるAs抜けを防止するようにしてもよく、このようなものにおいても上記実施例3と同様の効果を奏する。

【0058】また、上記実施例1～3は、活性層の活性領域以外の領域上のコンタクト層、及び上クラッド層の上部をプロトン注入により高抵抗化した構造を持つ半導体レーザについて示したが、本発明は、リッジ構造を有する半導体レーザ等、他の構造を有する半導体レーザにも適用できるものであり、このようなものにおいても、レーザ共振器端面近傍にInを熱処理により拡散させて量子井戸構造活性層をディスオーダーさせることにより上

記各実施例と同様の効果を得ることができる。

【0059】

【発明の効果】以上のようにこの発明によれば、窓構造を有する半導体レーザの製造方法において、第1導電型GaAs基板の一主面上に、第1導電型 $Al_xGa_{1-x}As$ ($0 < x < 1$) 下クラッド層、複数の $Al_zGa_{1-z}As$ ($0 < z < x$) バリア層と単数又は複数の $Al_yGa_{1-y}As$ ($0 < y < z$) ウエル層とからなる量子井戸構造活性層、第2導電型 $Al_rGa_{1-r}As$ ($z < r < 1$) 上クラッド層、及び第2導電型GaAsコンタクト層を順次エピタキシャル成長させた後、上記量子井戸構造活性層のレーザ共振器端面となる領域の近傍に、Inを熱処理を用いて拡散させて、該領域の量子井戸構造活性層をディスオーダーさせるようにしたから、600℃程度の低い温度でInを拡散させてレーザ共振器端面近傍の活性層をディスオーダーすることができ、高温による不純物の拡散を行なうことなく窓構造を形成することができ、高品質な半導体レーザを提供することができる効果がある。

【0060】また、この発明によれば、窓構造を有する半導体レーザの製造方法において、第1導電型GaAs基板の一主面上に、第1導電型 $Al_xGa_{1-x}As$ ($0 < x < 1$) 下クラッド層、複数の $Al_zGa_{1-z}As$ ($0 < z < x$) バリア層と単数又は複数の $Al_yGa_{1-y}As$ ($0 < y < z$) ウエル層とからなる量子井戸構造活性層、第2導電型 $Al_rGa_{1-r}As$ ($z < r < 1$) 上クラッド層、及び第2導電型GaAsコンタクト層を順次エピタキシャル成長させた後、上記コンタクト層上にレーザ共振器長方向となる方向に伸びる、レーザ共振器端面となる領域の近傍に達しない長さの、所定幅のストライプ状のInの拡散を防止する材料からなるIn拡散防止膜を形成し、その後、該In拡散防止膜上、及び上記コンタクト層上にInの拡散源となる膜を形成し、該Inの拡散源となる膜から熱処理を用いてInを下クラッド層に達する深さまで拡散させ、該Inを拡散させた領域内の上記量子井戸構造活性層をディスオーダーするようにしたから、600℃程度の低い温度でInを拡散させてレーザ共振器端面近傍の活性層をディスオーダーすることができ、高温による不純物の拡散を行なうことなく窓構造を形成することができ、高品質な半導体レーザを提供できる効果がある。

【0061】また、この発明によれば、上記In拡散防止膜をSiN膜としたから、高温による不純物の拡散を行なうことなく窓構造を形成することができ、高品質な半導体レーザを提供できる効果がある。

【0062】また、この発明によれば、上記In拡散防止膜をSiO₂膜としたから、高温による不純物の拡散を行なうことなく窓構造を形成することができ、高品質な半導体レーザを提供できる効果がある。

【0063】また、この発明によれば、上記Inの拡散

源となる膜をIn膜としたから、高温による不純物の拡散を行なうことなく窓構造を形成することができ、高品質な半導体レーザを提供できる効果がある。

【0064】また、この発明によれば、上記Inの拡散源となる膜をIn₂O₃膜としたから、コンタクト層表面と平行な平面内におけるIn拡散の不均一な分布をなくして、拡散領域内の量子井戸構造活性層を均一にディスオーダーして、均一な品質の窓構造を形成することができ、高品質な半導体レーザを提供できる効果がある。

【0065】また、この発明によれば、上記Inの拡散源となる膜を形成した後、該Inの拡散源となる膜上にSiO₂膜を形成する工程と、上記量子井戸構造活性層をディスオーダーした後、該SiO₂膜を除去する工程とをさらに含むようにしたから、In拡散時におけるコンタクト層表面からのAs抜けを防止することができる効果がある。

【0066】また、この発明によれば、半導体レーザにおいて、第1導電型GaAs基板と、この基板上に配置された第1導電型 $Al_xGa_{1-x}As$ ($0 < x < 1$) 下クラッド層と、この下クラッド層上に配置され、複数の $Al_zGa_{1-z}As$ ($0 < z < x$) バリア層と単数又は複数の $Al_yGa_{1-y}As$ ($0 < y < z$) ウエル層とからなり、そのレーザ共振器端面近傍に熱処理を伴うインジウム(In)の拡散によりディスオーダーされた領域を有する量子井戸構造活性層と、この量子井戸構造活性層上に配置された第2導電型 $Al_rGa_{1-r}As$ ($z < r < 1$) 上クラッド層と、この上クラッド層上に配置された第2導電型GaAsコンタクト層とを備えた構成としたから、600℃程度の低い温度でInを拡散させてレーザ共振器端面近傍の活性層をディスオーダーすることができ、高温による不純物の拡散を行なうことなく窓構造を形成することができ、高品質な半導体レーザを提供できる効果がある。

【0067】また、この発明によれば、上記量子井戸構造活性層の上記レーザ共振器端面近傍を除いた領域のうちのレーザ共振器長方向に伸びる所定幅のストライプ状の活性領域以外の領域が、熱処理を伴うInの拡散によりディスオーダーされており、上記上クラッド層の上部、及びコンタクト層の上記活性領域上の領域以外の領域は、プロトンが注入されて高抵抗化されている構成としたから、600℃程度の低い温度でInを拡散させてレーザ共振器端面近傍の活性層をディスオーダーすることができ、高温による不純物の拡散を行なうことなく窓構造を形成することができ、高品質な半導体レーザを提供できる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の第1の実施例による半導体レーザの構造を示す図である。

【図2】 この発明の第1の実施例による半導体レーザの製造方法を示す工程図である。

【図3】 この発明の第2の実施例による半導体レーザの製造方法の主要工程を示す断面図である。

【図4】 この発明の第3の実施例による半導体レーザの製造方法の主要工程を示す断面図である。

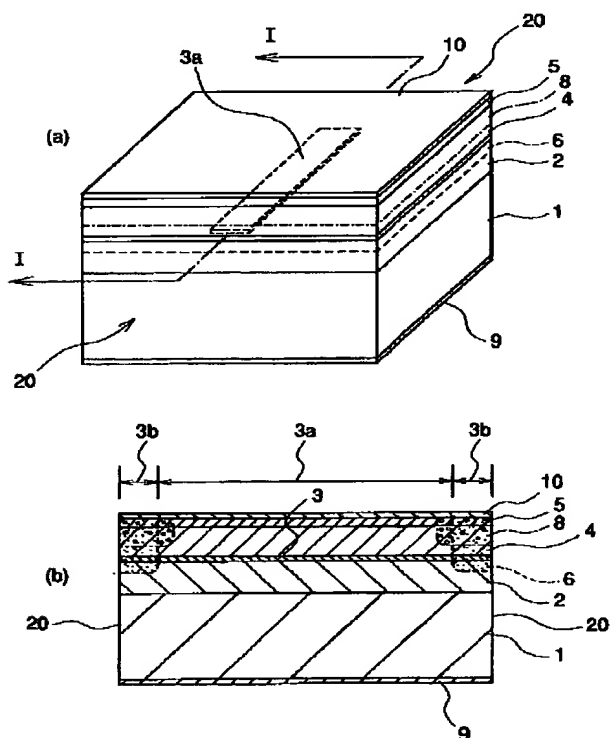
【図5】 従来の半導体レーザの構造を示す図である。

【図6】 従来の半導体レーザの製造方法を示す工程図である。

【図7】 従来の半導体レーザの量子井戸構造層のディスプレイを説明するためのアルミニウムプロファイルを示す図である。

【図8】 この発明の第1の実施例による半導体レーザの製造方法におけるIn拡散工程を説明するための、Inの拡散深さと拡散時間との関係を示す図である。

【図1】



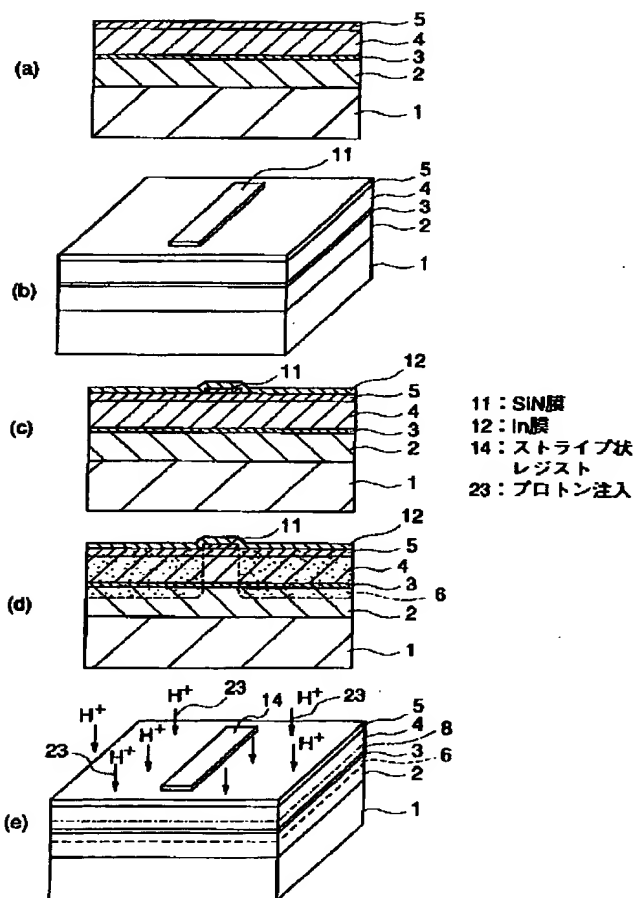
1: n型GaAs半導体基板
2: n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0.5$) 下クラッド層
3: 量子井戸構造活性層
3a: 活性領域
3b: 窓構造領域
4: p型 $\text{Al}_r\text{Ga}_{1-r}\text{As}$ ($r=0.5$) 上クラッド層
5: p型GaAsコンタクト層

6: In拡散領域
8: プロトン注入領域
9: n側電極
10: p側電極

【符号の説明】

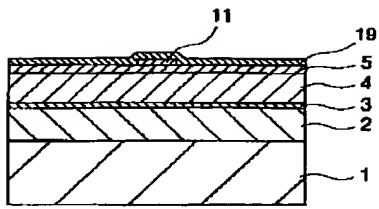
1 n型GaAs半導体基板、2 n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0.5$) 下クラッド層、3 量子井戸構造活性層、3a 活性領域、3b 窓構造領域、4 p型 $\text{Al}_r\text{Ga}_{1-r}\text{As}$ ($r=0.5$) 上クラッド層、5 p型GaAsコンタクト層、6 インジウム拡散領域、8 プロトン注入領域、9 n側電極、10 p側電極、11 SiN膜、12 In膜、13 SiO₂膜、14 フォトリソグリス、15 Si拡散領域、19 In₂O₃膜、20 レーザ共振器端面、22 Si膜、23 プロトン注入、30 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($y=0.05$) ウェル層、31 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($z=0.2\sim0.35$) バリア層、32 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($z=0.2\sim0.35$) 光ガイド層。

【図2】

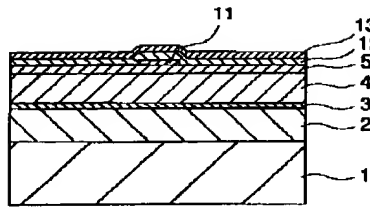


11: SiN膜
12: In膜
14: ストラップ状レジスト
23: プロトン注入

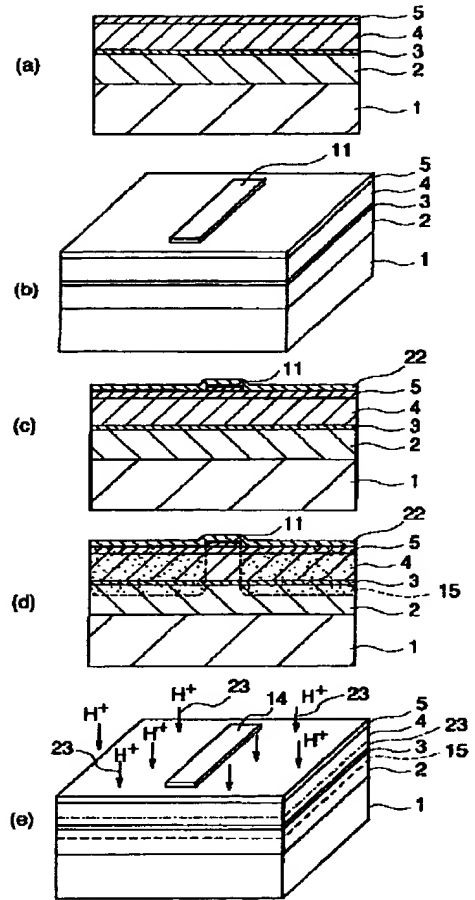
【図3】

19: In₂O₃膜

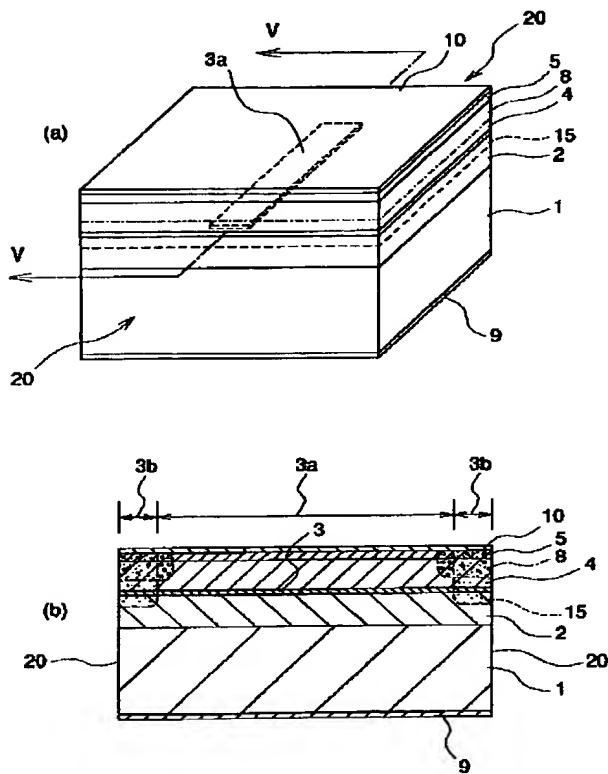
【図4】

13: SiO₂膜

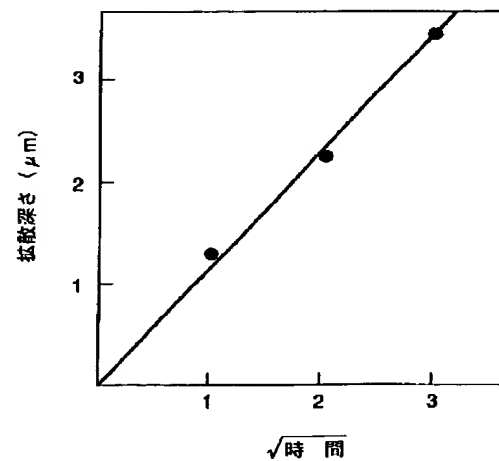
【図6】



【図5】



【図8】



【図7】

